# 江苏棉区第5代棉铃虫种群动态的模拟及预测

苏战平，张孝羲，翟保平
（南京农业大学植物保护学系，南京 210095）

**摘要**：用澳大利亚热带害虫研究中心开发的通用制模软件 Dymex 为外壳，以棉铃虫 *Helicoverpa armigera* 种群生命表为基础，构建了棉铃虫种群动态模型，以逐日历史气温统计值为驱动变量进行了第4、5代棉铃虫种群动态的模拟。结果表明，除早发高温的年份外，其它年份的绝大多数第5代棉铃虫在江苏棉区11月底前不能发育至蛹而无法安全越冬，故不能成为翌年第1代的有效虫源。根据模拟结果可预测第4代越冬蛹量及第5代卵的发生期、发生量及其越冬蛹数量并制成了简便易用的预测检索表。

**关键词**：棉铃虫；第5代；种群动态；模拟；预测
**中图分类号**：Q965.8 **文献标识码**：A **文章编号**：0454-6296（2002）04-0465-06

## Simulation and prediction of population dynamics of the fifth generation of *Helicoverpa armigera*（Hübner）in Jiangsu Province

SU Zhan-Ping，ZHANG Xiao-Xi，ZHAI Bao-Ping（Department of Plant Protection，Nanjing Agricultural University，Nanjing 210095，China）

**Abstract**：A dynamical model based on a population life table for *Helicoverpa armigera* was built up using the software Dymex developed by Cooperative Research Center For Tropical Pest Management（CRCFTPM）of Australia. Using daily historic data as the driving variable，simulations ranged from the 4th to the 5th generation of two districts Tongzhou and Siyang were run on respectively. The results indicated that，except for years with the highest temperatures and earliest emergence of this generation，the fifth generation would usually not complete larval development and hibernate successfully，and therefore would not become an effective population source for the following year. Based on the simulations，a predictive table for size of the fourth generation at hibernation and the number and period of 16% of the fifth generation accumulated eggs were presented.

**Key words**：*Helicoverpa armigera*；the fifth generation；population dynamics；simulation；forecasting

棉铃虫 *Helicoverpa armigera* 是棉花的重要害虫，并危害小麦、玉米等其它作物。20世纪80年代以来全球气温逐渐变暖，第5代棉铃虫正由偶发性逐渐演变为常发性。目前基层在第4代棉铃虫结束后一般不监测第5代，这方面的历史资料非常匮乏，使涉及到第5代的预测预报不能用通常的统计方法进行。参考丰富的棉铃虫研究文献，结合气象资料，用数学手段组建棉铃虫生长发育和数量动态的系统模型是一种较好的弥补措施。但数学模型既抽象，又运算复杂，较难在基层推广。以检索表形式输出模拟结果的预报速查表法，能较好地解决这一矛盾，对棉红铃虫曾使用过这种方法（谢佳龙等，1993）。作者根据生命表组建生存模型，以温度和光周期为自变量的棉铃虫滞育模型和发育进度模型，并以澳大利亚热带害虫研究中心（CRCFTPM）开发的通用制模工具 Dymex 为外壳，对江苏通州和泗阳两地的第五代棉铃虫动态进行了模拟，减轻了构建模型的难度，以检索表列出模拟结果，便于基层使用。

## 1 棉铃虫种群动态模型的构建

### 1.1 建模工具

用 CRCFTPM 开发的 Dymex 构建与环境变量耦

基金项目：国家“十五”攻关项目“农作物重大病虫害监测预警技术研究”（2001BA50PB01）和农业部国际先进农业技术引进项目“国家级有害生物灾变预警与决策支持系统”（201065）

第一作者简介：苏战平，男，1973年5月生，河南焦作人，硕士，助理农艺师，现在河南省植保植检站工作，主要从事农作物病虫害测报与防治工作，E-mail：suzp@371.net

收稿日期 Received：2001-10-15；接受日期 Accepted：2002-04-26

联的种群动态模型。

### 1.2 参数的确定

有关棉铃虫的研究已发表了大量文献，但因种种原因，大部分只能定性，即便能量化，也不精确。更因试验条件千差万别，研究结果常会大相径庭。因此，模型参数的选择从以下三个方面获得：(1) 公开发表的有关棉铃虫的实验生态学文献；(2) 根据作者田间调查得到的棉田棉铃虫自然种群生命表；(3) 根据专家经验进行估计。

**1.2.1** 光照和温度：(1) 光照 只要输入某地的纬度值，Dymex便能自动计算出该地各季节的光照时间。(2) 温度 温度变量分为高温系列、常温系列、低温系列三种情况。先依据历年气象资料求出逐日历年平均温度 $T$ 作为常温系列 $\{T_1, T_2, ..., T_i, ...\}$，然后求出逐日历年平均温度的标准差 $\{S_{x1}, S_{x2}, ..., S_{xi}, ...\}$，再求逐日的所有高于 ($T_i + S_{xi}$) 的日平均温度的平均数，以这些平均数为高温系列，所有低于 ($T_i - S_{xi}$) 的日平均温度的平均数为低温系列。

**1.2.2** 棉铃虫种群模型参数：(1) 发育速率温度、疾病 (DeAngelis *et al*., 1993)、食料性质 (Loader *et al*., 1991; Ali *et al*., 1992; 吴坤君等, 1993) 和食物的丰富度 (Legaspi *et al*., 1994) 都影响昆虫的发育速率。本模型模拟棉田棉铃虫种群，假定食料一致、充足，病原物感染个别虫体不影响种群的发育进度，故将温度作为发育的惟一驱动变量。参考农牧渔业部农作物病虫害测报站 (1983) 的报道并根据田间虫情资料作相应调整，确定各虫态的发育速率，如表1。第4代期间按表1设定各虫态发育速率。第5代期间将1至6龄并为幼虫期，发育起点温度取1至6龄最高的13.6℃，其它取平均值。假定当各龄发育完成后每天有95%的个体进入下一龄期。

(2) 死亡率：根据田间调查后整理的棉田棉铃虫自然种群生命表确定第4代卵至6龄幼虫的死亡率各为67.6%、42.3%、40.8%、54.3%、52.5%、45.5%和24.0%，估计预蛹和蛹死亡率为每日5%和2%，成虫完成生理年龄后全部死亡。5代期间死亡率参考吴坤君等 (1978, 1980) 的报道，组建各龄死亡率的回归方程。

卵期随温度 (℃) 变化的死亡率 (%)：

表1 棉铃虫各虫态发育的有关参数

**Table 1 Development parameters of different stages of *Helicoverpa armigera***

| 发育期 Stages | 发育起点温度 (℃) Threshold of development | $K_1$ | $X_{max}$ | $K_2$ |
|---|---|---|---|---|
| 卵 egg | 11.600 | 0.02600 | 34 | -0.0660 |
| 幼虫期 lavae | | | | |
| 1龄 1st instar | 13.600 | 0.04400 | 34 | -0.1200 |
| 2龄 2nd instar | 12.800 | 0.04600 | 34 | -0.1300 |
| 3龄 3rd instar | 11.500 | 0.03400 | 34 | -0.1000 |
| 4龄 4th instar | 6.400 | 0.02100 | 34 | -0.0600 |
| 5龄 5th instar | 11.800 | 0.02900 | 34 | -0.0900 |
| 6龄 6th instar | 9.769 | 0.01150 | 34 | -0.0300 |
| 预蛹 pre-pupae | 13.890 | 0.03160 | 34 | -0.0900 |
| 蛹 pupae | 12.080 | 0.00764 | 34 | -0.0120 |
| 成虫 adult | 8.684 | 0.00380 | 34 | -0.0114 |

$K_1$、$K_2$ 表示在一定温度范围内升高或降低1℃棉铃虫发育速率增加或降低的比率；$X_{max}$ 为随温度升高到发育速率开始下降时的临界温度

$K_1$ and $K_2$ are the increasing or decreasing rate of developmental velocity of *Helicoverpa armigera* when temperature varies 1℃; $X_{max}$ is the temperature above which the developmental velocity begins to fall

$$y = \begin{cases} 82.8 - 2.74x & (x < 25℃) \\ 2.58x - 50.2 & (x \geq 25℃) \end{cases} \quad (1)$$

幼虫期：

$$y = \begin{cases} 94.63 - 4.21x & (x < 20℃) \\ 10.47 & (20 \leq x \leq 25℃) \\ 0.148x + 6.03 & (x > 25℃) \end{cases} \quad (2)$$

逐日另加其它不明原因造成的 5% 的死亡率（估计值）；

预蛹期：

$$y = \begin{cases} 32.44 - 0.944x & (x < 30℃) \\ 0.2x - 4.9 & (x \geq 30℃) \end{cases} \quad (3)$$

蛹期：

$$y = \begin{cases} 39.74 - 1.114x & (x < 30℃) \\ 0.54x - 10.4 & (x \geq 30℃) \end{cases} \quad (4)$$

另加 2% 的不明原因造成的死亡率。

除蛹期外其它龄期若气温低于 10℃ 或高于 34℃时，每降低或升高 1℃则再增加 5% 的死亡率，蛹期存活临界温度定在 0℃和 40℃。

（3）成虫繁殖力：参考吴坤君等（1978）的报道。

$$y = \begin{cases} 55.915x - 759.55 & (x \leq 25℃) \\ 1490.95 - 6.64x & (x > 25℃) \end{cases} \quad (5)$$

由于未查到相关的试验报道，便根据田间落卵动态假定成虫羽化后 2 天开始产卵，然后以每天 90 粒的速率递增，羽化后 3 天达到产卵高峰，然后又以每天 30 粒的速率递减，直至产完或死亡。

（4）滞育率：模型包含了第 4 代 5、6 龄幼虫受温度和光照诱导引起蛹的滞育现象。依据蒋明星等（1997）的报道确定滞育的比例，组建回归方程：

$$Y = 383.757778 - 10.490000X_1 - 7.474971X_2$$
$$(20℃ < X_1 < 28℃;\ 9℃ < X_2 < 14℃) \quad (6)$$

式中 $Y$ 为滞育率（%），$X_1$ 为 5、6 龄期间的日平均温度（℃），$X_2$ 为 5、6 龄期间的平均光照时间（h），回归关系及式中各项参数的 $F$ 值检验均达 99% 显著水平。

**1.2.3** 模型结构：目前的第 1 版 Dymex 不能处理用户自定义的函数，使用第（6）式时，须把模型分成 4 代蛹滞育前子模型和 4 代蛹滞育后子模型，结构见图 1。

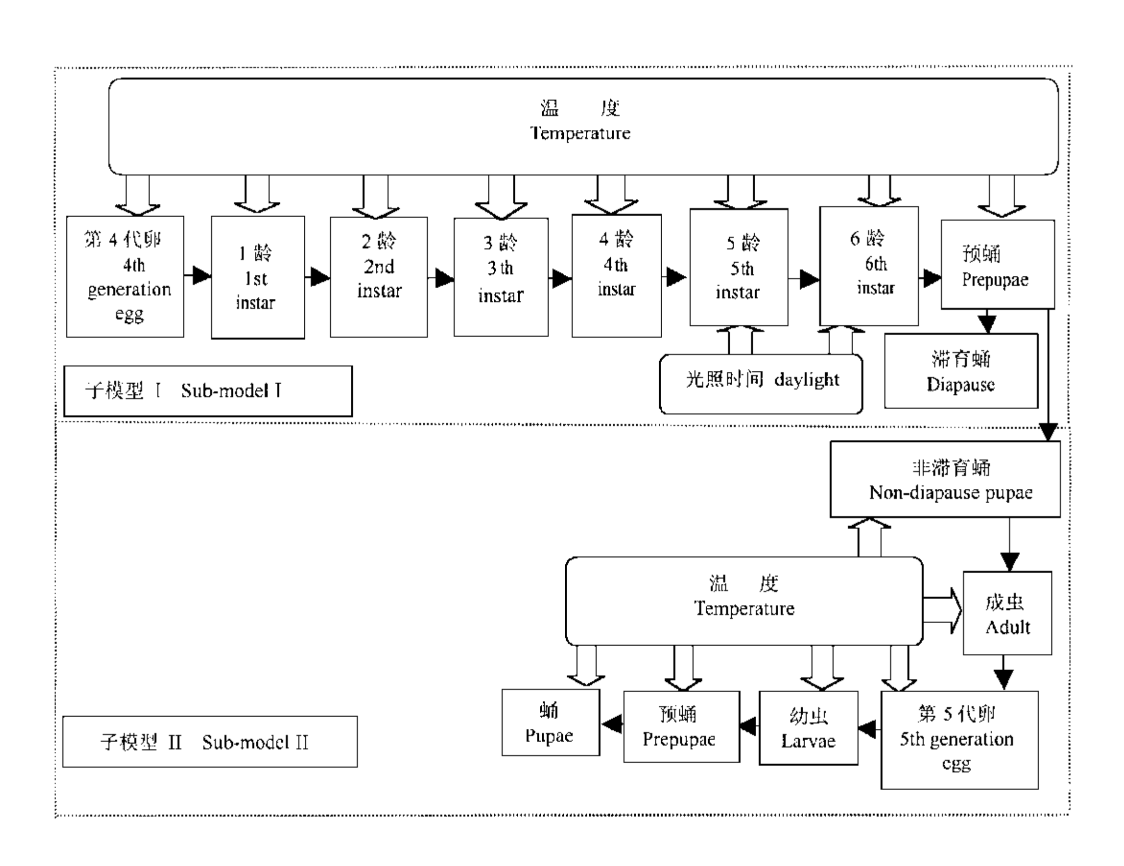



图 1　模型结构

Fig. 1　Model structure

**1.2.4** 模型初始状态：（1）初始时间　以历年第4代棉铃虫卵高峰期的平均数 $T$ 作为常发生年份的标准。求出历年第4代卵高峰发生期的标准差 $S_x$，将历年所有早于（$T-S_x$）的发生期的平均数作为早发年份的标准，将所有迟于（$T+S_x$）的发生期的平均数作为晚发年份的标准。（2）初始卵量　以历年第4代棉铃虫卵高峰期卵量的平均数 $N$ 为常发标准。求出历年第4代卵高峰期卵量的标准差 $S_x$，以历年所有大于（$N+S_x$）的发生量的平均数为重发年标准，所有小于（$N-S_x$）的发生量的平均数为轻发年标准。（3）环境变量　同1.2.1。

## 2 第5代棉铃虫动态模拟及预测应用

依据通州、泗阳两地历史资料，按上述初始变量、环境变量统计，输入Dymex，共进行117个组合的模拟，所得结果以检索表显示。若第5代卵高峰在10月，江苏棉区的棉花已陆续收获，此时的虫量对棉花产量已无影响，故对第5代棉铃虫始盛期预测更具实际意义，如表2、3所示。

从表2看出，通州地区4代为早发、常发年份遇到常温和高温天气均可产生第5代，而晚发年份须遇到高温天气才有第5代发生。第4代虫量轻的年份，由于到第5代虫量极少而被Dymex近似地做0处理。就同一个档次的虫量来看，高温早发年份第5代卵量最多，以下依次为常发高温、早发常温、晚发高温年份，其它组合无第5代卵发生。晚发低温年份因积温不足，第4代幼虫不能发育到蛹。早发高温年份第4代蛹的滞育率为0，全部进入第5代，且只有在此类年份第5代才会发育至蛹，滞育率在75%以上。

**表2　江苏通州棉田第5代棉铃虫预测检索表**

**Table 2　Key to forecasting the occurance of the 5th generation *Helicoverpa armigera* in cotton fields in Tongzhou, Jiangsu Province**

| 第4代发生情况 4th generation occurrence | | | 第4代越冬蛹量预测* The 4th generation hibernating pupa forecast from eggs per 100 cottons* | 第5代发生预测 5th generation forecast | | |
|---|---|---|---|---|---|---|
| | | | | 始盛 16% of eggs/100 cottons | | 5代越冬量* Number of pupa in diapause from 100 cottons* |
| 卵高峰期 Egg peak date | 平均气温预报 Prediction of mean temperature（℃） | 卵峰期发生量 Number of eggs during peak period per 100 cottons | | 卵始盛期** Egg appearing date** | 卵始盛期发生量** Number of eggs** | |
| 早 early（8月20日及以前）（before 20th, Aug. inclusive） | <21.2 | <30 | <0.14 | — | 0 | 0 |
| | | 30~204（102） | 0.14~0.93（0.46） | — | 0 | 0 |
| | | >204（270） | >0.93（1.22） | — | 0 | 0 |
| | 21.2~27.3 | <30 | <0.07 | 28/9—30/9 | <5.65 | 0 |
| | | 30~204（102） | 0.07~0.41（0.20） | 27/9—29/9 | 5.65~43.99（20.30） | 0 |
| | | >204（270） | >0.41（0.54） | 27/9—29/9 | >43.99（64.11） | 0 |
| | >27.3 | <30 | 0 | 20/9—21/9 | <8.52 | 0 |
| | | 30~204（102） | 0 | 20/9—22/9 | 8.52~70.75（36.72） | 0~0.76（0.33） |
| | | >204（270） | 0 | 20/9—22/9 | >70.75（102.11） | >0.76（1.12） |
| 中 normal（8月21日至31日）（between 21th and 31th, Aug. inclusive） | <19.6 | <30 | <0.003 | — | 0 | 0 |
| | | 30~204（102） | 0.003~0.12（0.03） | — | 0 | 0 |
| | | >204（270） | >0.12（0.16） | — | 0 | 0 |
| | 19.6~25.8 | <30 | <0.11 | —*** | 0*** | 0 |
| | | 30~204（102） | 0.11~0.77（0.38） | 10/10以后 after 10 Oct. | 0~24.68（9.92） | 0 |
| | | >204（270） | >0.77（1.00） | 10/10以后 after 10 Oct. | >24.68（36.15） | 0 |
| | >25.8 | <30 | <0.04 | —*** | 0*** | 0 |
| | | 30~204（102） | 0.04~0.24（0.13） | 29/9—1/10 | 0~67.28（31.71） | 0 |
| | | >204（270） | >0.24（0.33） | 29/9—1/10 | >67.28（97.31） | 0 |
| 晚 late（9月1日及以后）（after 1st, Sep. inclusive） | <18.6 | <30 | 0 | — | 0 | 0 |
| | | 30~204（102） | 0 | — | 0 | 0 |
| | | >204（270） | 0 | — | 0 | 0 |
| | 18.6~25.1 | <30 | <0.13 | — | 0 | 0 |
| | | 30~204（102） | 0.13~0.93（0.46） | — | 0 | 0 |
| | | >204（270） | >0.93（1.20） | — | 0 | 0 |
| | >25.1 | <30 | <0.07 | —*** | 0*** | 0 |
| | | 30~204（102） | 0.07~0.47（0.24） | 10/10以后 after 10 Oct. | 0~35.95（16.60） | 0 |
| | | >204（270） | >0.47（0.63） | 10/10以后 after 10 Oct. | >35.95（55.23） | 0 |

表中所有卵量为卵峰期累计卵量，单位：粒/百株；越冬蛹量单位：头/百株；括号内为相应范围内的常年平均值；“—”表示该值不存在；“*”和“**”表示分别以4代卵高峰卵量和4代始盛期卵量为输入值；“***”表示数量极低而使Dymex无法显示其始盛期和数量

Data in brackets are the mean level within the relevant range; “—” denotes nonentity; “*” and “**” indicate that 50% and 16% of the 4th generation total eggs respectively were used as the input value; “***” represents that the value is so low that Dymex can not show the number or date when 16% of 5th generation eggs per 100 cottons reaches

从表 3 看出，泗阳地区 4 代为早发年份就有第 5 代发生，而常发年份在常温和高温的情况下、晚发年份须遇到高温天气才发生。就同一档次的虫量来看，第 5 代发生数量的次序与通州地区相同，但多了早发低温这种情况，其发生量在同档次虫量不同类型年份中最低。模拟显示，晚发低温年份不能完成第 4 代的发育，早发高温年份第 4 代棉铃虫都不滞育，且只有在该类年份第 5 代棉铃虫才会发育至蛹，这与通州地区相同，但滞育率在 90% 以上。

用户具体使用预测检索表时，只需先查到田间卵高峰期及累计卵量，参考气象部门气温数据趋势及表 2、3 各分级标准，逐项对照检索出第 4 代越冬量及第 5 代卵始盛期和卵量。

**表 3　江苏泗阳棉田第 5 代棉铃虫预测检索表**

**Table 3　Key to forecasting the occurance of the 5th generation *Helicoverpa armigera* in cotton fields in Siyang, Jiangsu Province**

| 第 4 代发生情况 4th generation occurrence | | | 第 4 代越冬蛹量预测* The 4th generation hibernating pupa forecast from eggs per 100 cottons* | 第 5 代发生预测 5th generation forecast | | |
|---|---|---|---|---|---|---|
| 卵高峰期 Egg peak date | 平均气温预报 Prediction of mean temperature（℃） | 卵峰期发生量 Number of eggs during peak period per 100 cottons | | 始盛 16% of eggs/100 cottons | | 5 代越冬量* Number of pupa in diapause from 100 cottons* |
| | | | | 卵始盛期** Egg appearing date** | 卵始盛期发生量** Number of eggs** | |
| 早 early（8 月 20 日以前）（before 20th，Aug.） | < 21.5 | < 84（54） | < 0.35（0.22） | —*** | 0 | 0 |
| | | 85 ~ 170（135） | 0.40 ~ 0.73（0.57） | 7/10—9/10 | < 14.33 | 0 |
| | | > 170（393） | > 0.73（1.67） | 8/10—10/10 | < 14.33（19.21） | 0 |
| | 21.5 ~ 26.3 | < 84（54） | < 0.23（0.14） | —*** | 0 | 0 |
| | | 85 ~ 170（135） | 0.23 ~ 0.46（0.37） | 25/9—27/9 | 0 ~ 58.60（28.87） | 0 |
| | | > 170（393） | > 0.46（1.10） | 25/9—27/9 | > 58.60（76.57） | 0 |
| | > 26.3 | < 84（54） | 0 | —*** | 0 | < 0.38（0.21） |
| | | 85 ~ 170（135） | 0 | 17/9—19/9 | 0 ~ 109.42（56.36） | 0.38 ~ 0.84（0.65） |
| | | > 170（393） | 0 | 17/9—19/9 | > 109.42（139.57） | > 0.84（1.99） |
| 中 normal（8 月 21 日至 31 日）（between 21th and 31th，Aug. inclusive） | < 19.9 | < 84（54） | < 0.22（0.14） | — | 0 | 0 |
| | | 85 ~ 170（135） | 0.22 ~ 0.47（0.36） | — | 0 | 0 |
| | | > 170（393） | > 0.47（1.12） | — | 0 | 0 |
| | 19.9 ~ 25.0 | < 84（54） | < 0.34（0.21） | —*** | 0 | 0 |
| | | 85 ~ 170（135） | 0.34 ~ 0.73（0.56） | 8/10—10/10 | 0 ~ 30.27（14.43） | 0 |
| | | > 170（393） | > 0.73（1.71） | 8/10—10/10 | > 30.27（41.05） | 0 |
| | > 25.0 | < 84（54） | < 0.15（0.09） | —*** | 0 | 0 |
| | | 85 ~ 170（135） | 0.15 ~ 0.30（0.23） | 26/9—28/9 | 0 ~ 80.4（41.54） | 0 |
| | | > 170（393） | > 0.30（0.68） | 26/9—28/9 | > 80.4（104.3） | 0 |
| 晚 late（9 月 1 日及以后）（after 1st，Sep. inclusive） | < 18.7 | < 84（54） | 0 | — | 0 | 0 |
| | | 85 ~ 170（135） | 0 | — | 0 | 0 |
| | | > 170（393） | 0 | — | 0 | 0 |
| | 18.7 ~ 23.9 | < 84（54） | < 0.37（0.23） | — | 0 | 0 |
| | | 85 ~ 170（135） | 0.37 ~ 0.78（0.62） | — | 0 | 0 |
| | | > 170（393） | > 0.78（1.84） | — | 0 | 0 |
| | > 23.9 | < 84（54） | < 0.28（0.18） | —*** | 0 | 0 |
| | | 85 ~ 170（135） | 0.28 ~ 0.59（0.47） | 8/10—10/10 | < 58.01（26.94） | 0 |
| | | > 170（393） | > 0.59（1.37） | 8/10—10/10 | > 58.01（75.50） | 0 |

卵量为始盛日至高峰日的累计卵量，单位：粒/百株；越冬蛹量单位：头/百株；括号内数值、“—”、“*”、“**”、“***”的意义均同表 2

Data in brackets，“—”，“*”，“**” and “***” have the same meaning as in table 2 respectively

## 3　讨论

（1）江苏两地只有在早发高温年份第 5 代幼虫才能发育至蛹期而滞育，这部分蛹将成为翌年第 1 代的有效虫源。其它有第 5 代发生的年份在 11 月底以前不能发育至蛹，这部分虫源必然在冬季死亡。通州地区地处江苏棉区中部，根据有效积温法则推断，第 4 代若非早发，第 4、5 代期间不遇到高温天气，则在长江以北、江苏棉花主产区的第 5 代棉铃虫绝大多数不能安全越冬。当年第 5 代棉铃虫发生越重，翌年 1 代的虫源就越少，对防治越有利。两者的数量关系尚需积累资料进行验证、分析才能确定。

（2）作者建立的两地第 5 代棉铃虫预测检索表，模拟过程虽复杂，但两地用户可省略各种统计计算和上机运行，只要将所查得的 4 代卵高峰期、发生量，按当地历史上的发生期（早、中、晚）、发生量（轻、中、重）参考对第 4、5 代发生期间气温预测档次（低、常、高）对号入档，即可预测

第4代越冬量及第5代的发生情况，使用过程简便易行。

（3）各数学模型所依据的生命表参数，有的是在室内试验获得的，有的是自然种群生命表数据，甚至有的是根据有关专家的经验主观估计的，这就很可能使模拟的结果与实际情况有一定偏差。因此在今后的实践中，需因地、因时制宜地不断调试模型中的参数，使模型逐渐接近实际情况。

## 参 考 文 献 （References）


Ali A，Gaylar M J，1992. Effects of temperature and larval diet on development of the beet armyworm（Lepidoptera: Noctuidae），*Environ. Entomol.*，21：780－786.

DeAngelis J D，Sether D M，Rossignal P A，1993. Survival，development，and reproduction in Western flower thrips（Tysanoptera: Thriidae）exposed to impatient necrotic spot virus. *Environ. Entomol.*，22：1 308－1 312.

Jiang M X，Zhang X X，1997. Diapause termination and postdiapause development of overwintering pupae of cotton bollworm in Nanjing. *Acta Entomologica Sinica*，40（4）：364－373.［蒋明星，张孝羲，1997. 南京地区棉铃虫越冬蛹滞育的诱导和解除. 昆虫学报，40（4）：364－373］

Legaspi J，Oneil R J，1994. Development response of nymphs *Podisus maculivenris*（Heteroptera: Pentaomidae）reared with low numbers of prey. *Environ. Entomol.*，23：374－380.

Loader G，Danman H，1991. Nitrogen content of food plants and vulnerablity of *Pieris rapae* to natural enemies. *Ecol.*，72：1 586－1 590.

Pest Forecasting Station of Ministry of Agriculture of China，1983. Collection of Crop Pest Forecasting Data（1964－1979）. Vol. 2. Beijing: Agricultural Press. 674－684.［农牧渔业部农作物病虫测报站，1983. 农作物病虫预测预报资料（下册）（1964—1979）. 北京：农业出版社. 674－684］

Wu K C，Chen Y P，Li M H，1978. Life tables for experimental populations of the cotton bollworm，*Heliothis armigera*（Hübner），at different temperature. *Acta Entomologica Sinica*，21（4）：385－392.［吴坤君，陈玉平，李明辉，1978. 不同温度下的棉铃虫实验种群生命表. 昆虫学报，21（4）：385－392］

Wu K C，Chen Y P，Li M H，1980. Influence of temperature on the growth of laboratory population of the cotton bollworm，*Heliothis armigera*（Hübner）. *Acta Entomologica Sinica*，23（4）：358－368.［吴坤君，陈玉平，李明辉，1980. 温度对棉铃虫实验种群生长的影响. 昆虫学报，23（4）：358－367］

Wu K J，Li M H，1993. Nutritional ecology of the cotton bollworm，*Heliothis armigera*（Hübner）: life tables of the population on the artificial diets with different protein levels. *Acta Entomologica Sinica*，36（1）：21－28.［吴坤君，李明辉，1993. 棉铃虫营养生态学研究：取食不同蛋白质含量饲料时的种群生命表. 昆虫学报，36（1）：21－28］

Xie J L，Chen Y G，Zhang L，1993. High-speed and accurate forecast of damage by insect pest. *Entomological Knowledge*，30（2）：116－118.［谢佳龙，陈元光，张力，1993. 快速准确的虫害预报方法——预报速查表法. 昆虫知识，30（2）：116－118］